

**АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ  
СТЕПЕНИ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

**ALGORITHM FOR CALCULATING OF THE INTEGRAL INDICATOR  
ADVERSE IMPACT OF THE INDUSTRIAL WASTE-WATER ON WATER BODIES**

*Н.В. ГУТОРОВА, О.И. СЕДЛЯРОВ*

*N.V. GUTOROVA, O.I. SEDLYAROV*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: gutorova-nv@rguk.ru

*В статье обоснована необходимость разработки нового подхода к оценке негативного воздействия сбросов промышленных сточных вод на водные объекты. Предложен алгоритм расчета интегрального показателя негативного воздействия промышленных сточных вод на водные объекты. Предложенный алгоритм позволяет прогнозировать степень негативного воздействия сточных вод на водный объект еще на стадии выбора площадки под строительство, а также давать рекомендации по организации технологического процесса, минимизирующие негативное воздействие.*

*The necessity of developing a new approach to assessing the negative impact of industrial waste-water on a water bodies is substantiated. An algorithm is proposed for the integral indicator of the degree negative impact of industrial waste-water on water bodies. The proposed algorithm allows to predict the degree of negative impact industrial waste-water on water bodies even at the stage of choosing a site for construction and it provides some recommendations how to organize industrial process for minimizing this negative impact.*

**Ключевые слова:** алгоритм расчета, промышленное предприятие, сточные воды, экологическое нормирование, интегральный показатель, степень негативного воздействия, водные объекты.

**Keywords:** calculation algorithm, industrial enterprise, waste-water, ecological regulation, calculation algorithm, integral indicator, degree of negative impact, water bodies.

Согласно данным, размещенным в информационно-коммуникационной среде Интернет на официальном сайте Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС), утвержденной Постановлением Правительства РФ от 26 мая 2010 г. № 367 [1], объем сброса сточных вод в 2018 г. в среднем по Российской Федерации составил 16 млрд. м<sup>3</sup>. В то время как доля сточных вод, очищенных до нор-

мативных значений, в 2018 г. составила 44,4% в общем объеме сточных вод, пропущенных через очистные сооружения. Таким образом, в целом по Российской Федерации в водные объекты в 2018 г. было сброшено порядка 7,1 млрд. м<sup>3</sup> сточных вод, не очищенных до нормативных значений. Основными источниками загрязненных сточных вод являются предприятия жилищно-коммунального хозяйства, про-

мышленности и агропромышленного комплекса, на долю которых приходится свыше 90% общего объема сброса загрязненных сточных вод. На долю промышленности приходится 25% общего объема сброса загрязненных сточных вод [2].

Для ограничения негативного влияния промышленных предприятий на окружающую природную среду в Российской Федерации предусмотрено нормирование воздействия. Требования, предъявляемые к источникам воздействия, отражают научно-технические нормативы. При соблюдении нормативов содержание любой примеси в воде должно удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям.

Научно-техническое нормирование предполагает введение ограничений деятельности производственных объектов по отношению к окружающей среде, то есть определяет предельно допустимые потоки вредных веществ, которые могут поступать от источников воздействия в воду. Таким образом, от предприятий требуется не собственно обеспечение тех или иных предельно допустимых концентраций (ПДК), а соблюдение пределов сбросов загрязняющих веществ, установленных для объекта в целом или конкретных источников, входящих в его состав. Такой подход позволяет установить массу вещества в сточных водах, максимально допустимую к отведению в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения допустимого качества воды в контрольном пункте.

Научно-технические (экологические) нормативы воздействия на водную среду разрабатываются для производственных объектов в форме проектов нормативов предельно допустимых сбросов (НДС). "Порядок разработки и утверждения экологических нормативов выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, лимитов использования природных ресурсов, размещения отходов" принят Постановлением Правительства РФ от 3 августа 1992 года № 545 (с изменениями, внесенными 16 июня 2000 года постановлением № 461) [3].

Как показывает опыт, система научно-технического нормирования не удобна и не

информативна, так как констатирует факт загрязнения окружающей среды, но не позволяет давать оценку степени загрязнения водного объекта, определять масштаб негативного воздействия предприятия на водный объект, а также прогнозировать экологическую обстановку на промышленных предприятиях. В связи с этим актуален вопрос разработки такого подхода, который бы позволил получить сопоставимую оценку степени негативного воздействия промышленных сточных вод на водные объекты.

В данной работе предлагается алгоритм расчета интегрального показателя степени негативного воздействия промышленных сточных вод на водные объекты. Для интегральной оценки степени негативного воздействия использовали подход, предложенный в работе [4]. Алгоритм расчета интегрального показателя степени негативного воздействия промышленных сточных вод на водные объекты состоит из трех последовательных этапов.

На первом этапе рассчитываются концентрации  $C_i$  (мг/л)  $i$ -го загрязняющего вещества в водном объекте на расстоянии  $x$  (м) от стационарного источника сброса в соответствии с утвержденной "Методикой разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей" [4]. Методика позволяет на основе выбранных методов расчета кратности разбавления рассчитать концентрации загрязняющих веществ в водном объекте на любом расстоянии от места выпуска сточных вод. При выполнении расчета разбавления (расчета турбулентной диффузии вещества) для водотоков используется метод Лапшева, для водоемов – метод Руффеля. Расчет ведется до  $C_i(x) \geq 0,1C_{i\max}$ .

На втором этапе рассчитывается критерий  $G_i$ , который пропорционален суммарному уровню загрязнения водного объекта  $i$ -м веществом, сбрасываемым со сточными водами:

$$G_i = \int_{x=X_{k0}}^{x=X_k} C_i(x) dx. \quad (1)$$

Очевидно, что значение  $x_k$  для разных загрязняющих веществ, сбрасываемых из одного и того же источника, будет различным.

По физическому смыслу предложенный критерий  $G_i$  характеризует плотность загрязнения водного объекта в границах от  $x_{k0}$  до  $x_k$ , то есть в зоне влияния промышленного предприятия.

$$\int_{x=x_{k0}}^{x=x_k} C_i(x) dx = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i) (C(x_i) + C(x_{i+1})). \quad (2)$$

На третьем этапе рассчитывается интегральный показатель степени негативного воздействия промышленных сточных вод на водные объекты  $G$ :

$$G = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}, \quad (3)$$

где  $m$  – количество выпускных отверстий;  $n$  – количество загрязняющих веществ, поступающих в водный объект через  $j$ -е выпускное отверстие.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет определить плотность загрязнения водного объекта в границах от  $x_{k0}$  до  $x_k$ , то есть в зоне влияния промышленного предприятия.

Предложенный алгоритм был опробован на примере мехового производства, сточные воды которого после очистки содержат: хлориды – 0,02 мг/л; сульфаты – 0,15 мг/л; сухой остаток – 0,8 мг/л.

Исходные данные для расчета интегрального показателя негативного воздей-

ленного предприятия. Можно предположить, что чем меньше  $G_i$ , тем меньше негативное воздействие сбросов в этих границах.

Зависимость  $G_i = \varphi(C_i(x))$  получаем численным интегрированием зависимости  $C_i = C_i(x)$  при разных значениях  $x$ . Численное интегрирование зависимости  $C_i = C_i(x)$  проводится методом трапеций:

ствия промышленных сточных вод на водные объекты приняты равными: количество выпускных отверстий  $n = 1$ , расход сточных вод  $q = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , средняя глубина водоема вблизи сброса сточных вод и до контрольного створа  $H_{cp} = 2 \text{ м}$ , скорость ветра над водой в месте сброса сточных вод  $V = 2,5 \text{ м/с}$ .

Были рассмотрены 2 варианта сброса сточных вод мехового производства в водоем. В первом случае сброс проводился в мелководье или в верхнюю треть глубины водоема, за счет чего загрязненная струя распространяется вдоль берега под воздействием прямого поверхностного течения, имеющего одинаковое с ветром направление. Во втором случае сброс сточных вод проводился в нижнюю треть глубины водоема, а загрязненная струя в таком случае распространяется под воздействием донного компенсационного течения. Результаты расчетов показателя  $G$  представлены в табл. 1 (результаты расчетов значений  $G$  при сбросе сточных вод в водоем в мелководье и в нижнюю треть глубины).

Т а б л и ц а 1

Вид сброса сточных вод	$G_i$			$G, (\text{мг/л}) \cdot \text{м}$
	Хлориды	Сульфаты	Сухой остаток	
В мелководье (в верхнюю треть глубины)	1,23	9,26	49,41	59,9
В нижнюю треть глубины	0,57	4,28	22,82	27,67

По результатам расчетов можно увидеть, что меньшее значение показателя  $G$  наблюдается при сбросе в нижнюю треть глубины, а большее значение показателя  $G$  соответственно при сбросе в мелководье.

Таким образом, можно предположить, что при сбросе сточных вод в нижнюю треть водоема оказывается меньшее негативное воздействие производственных сточных вод на водоем.

Далее определили, как будет меняться показатель  $G$  при сбросе сточных вод в водоток через одно и два выпускных отверстия разного диаметра. Для расчета выбрали произвольный участок на р. Волге. Показатель  $G$  рассчитывали при следующих значениях:

- средняя скорость водного потока  $V_p = 0,4$  м/с,
- расход сточных вод  $q = 0,4$  м<sup>3</sup>/с,
- средняя глубина реки  $H = 4$  м,

- скорость истечения сточной воды  $V_{ст} = 1,6$  м/с,

- коэффициент шероховатости русла водного объекта  $n_{ш} = 0,035$ ,

- коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод (при выпуске у берега  $\zeta = 1$ , при выпуске в стрежень реки  $\zeta = 1,5$ ).

Результаты расчетов показателя  $G$  приведены в табл. 2 (результаты расчетов показателя  $G$  при сбросе загрязняющих веществ в водоток у берега или в русло при разных значениях  $d, n$ ).

Т а б л и ц а 2

Место выпуска	n, шт.	d, м	Gi			G, (мг/л)·м
			Хлориды	Сульфаты	Сухой остаток	
У берега	1	0,6	0,84	6,30	33,58	40,72
У берега	2	0,4	0,35	2,66	14,20	17,21
В русло (стержень)	1	0,6	0,26	1,97	10,49	12,72
В русло (стержень)	2	0,4	0,11	0,85	4,54	5,5

Из табл. 2 видно, что минимальное значение  $G = 5,5$  (мг/л)·м принимает при сбросе в русло водотока через 2 выпускных отверстия диаметром 0,4 м, а максимальное –  $G = 40,72$  (мг/л)·м при сбросе у берега через одно выпускное отверстие диаметром 0,6 м.

Далее определили, как влияет извилистость водотока на показатель  $G$ . Для этого

выбрали максимально извилистый участок на р. Пьяне, среднеизвилистый – на р. Пахре и участок с прямым направлением на р. Волге. Результаты расчетов показателя  $G$  приведены в табл. 3 (результаты расчетов показателя  $G$  при сбросе сточных вод на участках водотоков с разным коэффициентом извилистости).

Т а б л и ц а 3

n, шт.	d, м	Gi			G, (мг/л)·м
		Хлориды	Сульфаты	Сухой остаток	
р. Пьяна					
1	0,6	0,56	4,21	22,47	27,24
2	0,4	0,28	2,11	11,28	13,67
р. Пахра					
1	0,6	0,69	5,15	27,44	33,28
2	0,4	0,29	2,19	11,69	14,17
р. Волга					
1	0,6	0,84	6,30	33,58	40,72
2	0,4	0,35	2,66	14,20	17,21

По полученным данным можно увидеть, что извилистость водного объекта благотворно влияет на экологическое состояние водотока, так как показатель  $G$  на извилистом участке р. Пьяны при сбросе через два выпускных отверстия меньшего диаметра является минимальным, а максимальное значение показатель  $G$  принимает на пря-

мом участке р. Волге при сбросе через одно выпускное отверстие большего диаметра.

## В Ы В О Д Ы

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет давать интегральную оценку степени негативного воздействия про-

мышленных сточных вод на водные объекты при разных условиях сброса сточных вод, а также оценивать воздействие производственной деятельности на водные объекты и сравнивать производства по степени их негативного влияния. С помощью разработанного алгоритма можно прогнозировать экологическую ситуацию на производственных предприятиях еще на стадии выбора площадки под строительство, а также давать рекомендации по организации технологического процесса, минимизирующие вредное воздействие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС). Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/>
2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р). Режим доступа: <http://www.scrf.Gov.ru/>
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 августа 1992 г. № 545 "Об утверждении порядка разработки и утверждения экологических нормативов выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, лимитов использования природных ресурсов, размещения отходов (с изм., внесенными Постановлением Правительства РФ от 16. июня 2000 г. № 461) Режим доступа: <http://base.garant.ru/>
4. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 17 декабря 2007 года № 333 (с изменениями на 31 июля 2018 года). Режим доступа: <http://base.garant.ru/>

5. Гуторова Н.В., Седларов О.И. Алгоритм расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы организованными источниками выбросов промышленных предприятий // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2020, № 1(75) С.19...24.

#### REFERENCES

1. Oficial'nyy sayt Edinoy mezhdovomstvennoy informatsionno-statisticheskoy sistemy (EMISS). Rezhim dostupa: <https://www.fedstat.ru/>
2. Vodnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda (utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 27 avgusta 2009 g. № 1235-r). Rezhim dostupa: <http://www.scrf.Gov.ru/>
3. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 3 avgusta 1992 g. № 545 "Ob utverzhdenii poryadka razrabotki i utverzhdeniya ekologicheskikh normativov vybrosov i sbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v okruzhayushchuyu prirodnyuyu sredu, limitov ispol'zovaniya prirodnykh resursov, razmeshcheniya otkhodov (s izm., vnesennymi Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 16. iyunya 2000 g. № 461) Rezhim dostupa: <http://base.garant.ru/>
4. Metodika razrabotki normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnye ob"ekty dlya vodopol'zovateley: prikaz Ministerstva prirodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii ot 17 dekabrya 2007 goda № 333 (s izmeneniyami na 31 iyulya 2018 goda). Rezhim dostupa: <http://base.garant.ru/>
5. Gutorova N.V., Sedlyarov O.I. Algoritm rascheta integral'noy otsenki stepeni zagryazneniya atmosfery organizovannymi istochnikami vybrosov promyshlennykh predpriyatiy // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2020, № 1(75) S.19...24.

Рекомендована кафедрой энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности. Поступила 15.10.20.